



中等专业学校
工科电子类

规划教材

电子测量与仪器

(修 订 版)

肖晓萍 左长贵 朱文华

东南大学出版社

电子测量与仪器

(修订版)

肖晓萍 左长贵 朱文华

东南大学出版社
·南京·

内 容 提 要

本书系电子工业部工科电子类专业“八五”规划教材《电子测量与仪器》的修订版,内容包括电子测量技术与电子仪器原理两部分。全书共9章,以测量仪器原理分析与测量技术紧密结合的方法,介绍常用电子测量仪器(信号源、示波器、电子计数器、电压表、扫频仪、频谱分析仪、失真度仪、晶体管特性图示仪等)的基本工作原理与典型电路分析;电子技术中基本电参量的测量原理与方法,并对微机化仪器、数据域测量仪、逻辑分析仪作了一定的介绍。

本书保留了原版的体系与特色,编写思路清晰,概念原理讲述透彻,深入浅出,通俗易懂;对传统和陈旧的内容作了删减,各章节的内容有所更新。各章末配置有小结与习题,书末有部分习题参考答案。

本书适应中专校培养应用型人才的需要,取材既反映我国电子仪器发展的新水平,又突出其实用性要求。除用作电子类中专教材外,亦可供从事电子技术工作和计量测试人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量与仪器/肖晓萍主编,左长贵,朱文华编.修订版.一南京:东南大学出版社,2000.3

ISBN 7-81023-892-2

I.电... II.①肖...②左...③朱... III.①电子测量②电子测量设备 IV.TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 15497 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 南通韬奋印刷厂印刷

开本:850mm×1168mm 1/32 印张:12.25 字数:340千

2000年3月第2版 2001年7月第8次印刷

印数:30001-34000册 定价:17.00元

出 版 说 明

根据国务院关于高等学校教材工作的规定,我部承担了全国高等学校和中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978~1990年,已编审、出版了三个轮次教材,及时供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻国家教委《高等教育“八五”期间教材建设规划纲要》的精神,“以全面提高教材质量水平为中心,保证重点教材,保持教材相对稳定,适当扩大教材品种,逐步完善教材配套”,作为“八五”期间工科电子类专业教材建设工作的指导思想,组织我部所属的九个高等学校教材编审委员会和四个中等专业学校专业教学指导委员会,在总结前三轮教材工作的基础上,根据教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1991~1995年的“八五”(第四轮)教材编审出版规划。列入规划的,以主要专业主干课程教材及其辅助教材为主的教材约300多种。这批教材的评选推荐和编审工作,由各编委会或教学指导委员会组织进行。

这批教材的书稿,其一是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的,其二是在认真遴选主编人的条件下进行约编的,其三是经过质量调查在前几轮组织编写出版的教材中修编的。广大编审者、各编审委员会(小组)、教学指导委员会和有关出版社,为保证教材的出版和提高教材的质量,作出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能有缺点和不足之处,希望使用教材的单位,广大教师和同学积极提出批评和建议,共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

修订版前言

本书系 1994 年 5 月第 1 版(朱文华编写)的修订版,由南昌无线电工业学校肖晓萍主编,淮阴电子工业学校左长贵参编,淮阴电子工业学校李明生担任主审。

本课程的参考学时数为 80 学时。全书共 9 章,第 1 章为绪论;第 2 章介绍测量误差理论和数据处理;第 3~6 章讨论信号源、示波器、电子计数器、电压表等常用仪器的基本工作原理和典型电路及其在时间、频率、电压等基本参数测量和在波形分析中的应用;第 7 章讨论频域测量技术;第 8 章讨论电子器件参数测量及集总参数阻抗测量,结合测量技术的讨论,研究了频率特性测试、频谱分析、失真分析、晶体管特性及集总参数阻抗测量等类电子仪器的基本组成和工作原理;第 9 章叙述数据域测量,讨论了数据域测量的概念、逻辑分析仪的基本工作原理。

为适应中专校培养应用型人才的需要,本书在修订过程中,总的构思是:对误差分析多作定性说明,结论明确;测量原理的讲解力求深入浅出、通俗易懂,突出基本概念;对测量方法侧重于归纳、比较,结论简明,突出实用;对测量仪器、仪表讲清工作原理框图,不过多涉及单元内部具体电路,举例典型、实用。为教与学的方便,本

书各章后面配有小结与习题,书末给出了部分习题参考答案。

本书第1~4,7,9章由肖晓萍编写,第5,6,8章由左长贵编写。在本书编写和出版过程中,得到了两校领导的关心和支持,两校部分教师提出了不少有益的意见和建议,有关的电子仪器厂家也给予了积极的支持,在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中定有不妥之处,热忱欢迎广大读者批评指正。

编 者

2000年1月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 测量与计量	(1)
1.1.1 测量及其重要意义	(1)
1.1.2 计量的基本知识	(2)
1.2 电子测量	(5)
1.2.1 电子测量的特点	(5)
1.2.2 电子测量的内容	(6)
1.2.3 电子测量的基本方法	(7)
1.3 电子测量仪器及发展	(9)
1.3.1 电子测量仪器分类	(9)
1.3.2 电子测量仪器发展概述	(9)
本章小结	(11)
习题	(12)
2 测量误差理论及数据处理	(13)
2.1 测量误差的基本概念	(13)
2.1.1 测量误差的表示方法	(13)
2.1.2 电子测量仪器误差的表示方法	(17)
2.1.3 测量误差的来源	(19)
2.1.4 测量误差的分类	(20)
2.1.5 测量结果的评定	(21)
2.2 测量误差的估计和处理	(23)
2.2.1 随机误差的统计特性	(23)
2.2.2 判断及减小系统误差的方法	(30)

2.2.3 疏失误差及判断准则	(33)
2.3 测量误差的合成	(35)
2.3.1 误差传播的一般公式	(35)
2.3.2 随机误差的合成	(38)
2.3.3 系统误差的合成	(38)
2.3.4 不确定度的合成	(38)
2.4 测量结果的数据处理	(40)
2.4.1 有效数字的处理	(40)
2.4.2 等精密度测量结果的处理步骤	(43)
本章小结	(46)
习题	(48)
3 信号源	(50)
3.1 概述	(50)
3.2 正弦信号发生器的性能指标	(53)
3.3 低频信号发生器	(55)
3.3.1 低频信号发生器主要性能指标	(55)
3.3.2 低频信号发生器的基本工作原理	(55)
3.3.3 XD-7型低频信号发生器电路简介	(58)
3.4 高频信号发生器	(60)
3.4.1 调谐信号发生器	(60)
3.4.2 锁相信号发生器	(63)
3.4.3 合成信号发生器	(64)
3.5 函数发生器	(73)
3.5.1 函数发生器的工作原理分析	(74)
3.5.2 NF-1651A 函数信号发生器简介	(76)
3.6 脉冲信号发生器	(79)
3.6.1 脉冲信号	(79)
3.6.2 脉冲信号发生器分类	(80)
3.6.3 脉冲信号发生器的组成及主要技术性能	(81)
3.6.4 NF-1521A(XC-16A)脉冲信号发生器简介	(82)

3.6.5 脉冲信号发生器的应用	(87)
本章小结	(92)
习题	(93)
4 电子示波器	(95)
4.1 概述	(95)
4.2 示波测试的基本原理	(96)
4.2.1 阴极射线示波管	(96)
4.2.2 图像显示的基本原理	(102)
4.3 通用示波器	(105)
4.3.1 通用示波器的组成及主要技术性能	(105)
4.3.2 垂直系统(Y通道)	(108)
4.3.3 水平系统	(113)
4.3.4 主机系统	(125)
4.4 多波形显示	(127)
4.4.1 双线示波器简介	(129)
4.4.2 双踪示波器	(130)
4.4.3 双扫描显示	(133)
4.5 数字存储示波器	(138)
4.5.1 数字存储示波器的组成及主要技术指标	(138)
4.5.2 数字存储示波器的原理分析	(142)
4.5.3 波形的显示	(151)
4.6 示波器的基本测量方法	(157)
4.6.1 引言	(157)
4.6.2 瞬态响应测试和矩形脉冲参数测量	(159)
4.6.3 正弦信号示波测量法	(162)
4.6.4 利用示波器游标测量电压和时间	(168)
4.6.5 调幅系数示波测量	(170)
4.6.6 滤波器的示波测调法	(171)
4.6.7 电视场信号测量	(173)
4.7 通用电子示波器的选择和使用	(174)

4.7.1 选择的一般原则	(174)
4.7.2 示波器的正确使用	(175)
4.7.3 示波器的校验	(175)
本章小结	(177)
习题	(179)
5 频率和时间的测量	(182)
5.1 概述	(182)
5.1.1 频率和时间的原始基准	(182)
5.1.2 石英晶体振荡器	(183)
5.1.3 频率和时间测量技术简述	(184)
5.2 通用电子计数器	(186)
5.2.1 电子计数器分类及主要技术性能	(186)
5.2.2 通用电子计数器的基本组成	(187)
5.3 电子计数器的测量功能	(192)
5.3.1 电子计数器测量频率和计数	(192)
5.3.2 电子计数器测量时间和周期	(195)
5.3.3 电子计数器的自校	(200)
5.4 电子计数器的测量误差	(201)
5.4.1 测量误差的来源	(201)
5.4.2 频率测量误差分析	(203)
5.4.3 周期测量误差分析	(204)
5.4.4 时间测量误差分析	(206)
5.5 E312A 型通用电子计数器	(206)
5.5.1 E312A 型通用电子计数器主要测试功能和技术指标	(206)
5.5.2 工作原理	(207)
5.5.3 E312A 仪器的使用	(210)
本章小结	(213)
习题	(214)
6 电压测量	(216)
6.1 概述	(216)

6.1.1	电压测量的特点	(216)
6.1.2	电压测量仪器的分类	(217)
6.1.3	交流电压的基本参数	(220)
6.2	模拟交流电压表	(222)
6.2.1	均值电压表	(222)
6.2.2	峰值电压表	(226)
6.2.3	有效值电压表	(231)
6.3	用模拟交流电压表测量噪声电压	(235)
6.4	电压测量的数字化方法	(236)
6.4.1	概述	(236)
6.4.2	DVM 的主要性能	(237)
6.4.3	A/D 转换器原理	(240)
6.4.4	DVM 中的自动功能	(247)
6.4.5	带有微处理器的 DVM	(253)
6.5	数字多用表	(255)
6.5.1	电路的基本组成	(255)
6.5.2	测量电路	(256)
6.5.3	数字多用表的特点	(258)
6.6	电压表的选择和使用	(259)
6.6.1	选择的一般原则	(259)
6.6.2	电子电压表的使用	(260)
	本章小结	(261)
	习题	(262)
7	频域测量技术	(265)
7.1	概述	(265)
7.2	线性系统频率特性测量	(265)
7.2.1	测量方法	(265)
7.2.2	扫频仪	(270)
7.2.3	相频特性测量仪器	(277)
7.3	频谱分析仪	(284)

7.3.1	概述	(284)
7.3.2	频谱分析仪的工作原理	(285)
7.3.3	扫频外差式频谱仪	(288)
7.4	谐波失真度测量	(293)
7.4.1	谐波失真度的定义	(293)
7.4.2	谐波失真度测量方法	(294)
7.4.3	失真度测试仪简介	(297)
	本章小结	(301)
	习题	(302)
8	电子元器件参数测量	(304)
8.1	电子器件参数测量	(304)
8.1.1	电子器件参数测量仪器分类	(304)
8.1.2	晶体管特性曲线的测量	(308)
8.1.3	晶体管特性图示仪	(315)
8.1.4	XJ-4810 型半导体管特性图示仪简介	(327)
8.2	电子元件参数测量	(329)
8.2.1	概述	(329)
8.2.2	集总参数元件特性简介	(329)
8.2.3	电桥法测量电子元件参数	(331)
8.2.4	谐振法测量元件参数	(339)
8.2.5	测量 RLC 的数字化方法	(347)
	本章小结	(352)
	习题	(353)
9	数据域测量	(355)
9.1	数据域测试和分析仪器	(355)
9.1.1	数据域分析的基本概念	(355)
9.1.2	数字信号的特点	(357)
9.1.3	数据域测试仪器	(358)
9.2	逻辑分析仪	(363)
9.2.1	逻辑分析仪的基本组成	(363)

9.2.2 逻辑分析仪的工作原理	(364)
9.2.3 逻辑分析仪的显示	(368)
9.2.4 逻辑分析仪的应用	(370)
本章小结	(374)
习题	(374)
附录 部分习题答案	(376)
参考文献	(378)

1 绪论

1.1 测量与计量

1.1.1 测量及其重要意义

测量是人类认识自然和改造自然的重要手段。通过测量,人们可以获得对客观事物数量上的认识,因而可以从观察客观事物中总结出一般规律来。从定义上讲,测量是人们为了确定被测对象的量值或确定一些量值的依从关系而进行的实验过程。为了确定被测量的量值,要把它与标准量进行比较,因此,所获得的测量结果的量值总应包括两部分,即数值(大小及符号)和用于比较的标准量的单位名称。如某电阻 5Ω ,某线路流过的电流 $3A$,某电压 $-10V$ 等。用来确定被测量量值的装置称为测量器具,它包括测量仪器和量具。测量仪器将被测的量转换成示值,或与示值相等效的信息。例如指针式电压表,它把被测的量转换成指针的偏转量,且可利用刻度读出其对应的电压值。量具是以固定的形式复现出某一个量或几个量的已知量值,可作为标准元件使用。例如电阻器、电容器、电感器等。

在科学技术发展过程中,测量结果不仅用于验证理论,而且是发现新问题、提出新理论的依据。历史事实证明:科学的进步、生产的发展与测量理论技术手段的发展和进步是相互依赖、相互促进的。评价一个国家的科技状态,最快的办法就是去审视那里所进行的测量以及由测量所累积的数据是如何被利用的。因此,测量手段的现代化,已被公认为是科学技术和生产现代化的重要条件和明显标志。

1.1.2 计量的基本知识

1) 计量的基本概念

随着生产的发展,商品的交换和国际、国内的交流,客观要求对同一量在不同的地方,用不同的测量手段测量时,所得的结果应该一致。因而出现了大家公认的统一单位,体现这些单位的基准、标准和用这些基准和标准来校准的测量器具,还用法律形式将上述内容固定下来,从而形成了与测量有联系而又有别于测量的新概念,这就是计量的概念。也可以说计量是为了保证量值的统一和准确一致的一种测量。它的三个主要特征是统一性、准确性和法制性。

计量与测量两者不同,但又有密切的联系。测量是用已知的标准单位量和同类被测量比较,这时认为被测量的真实数值是存在的,测量误差是由测量仪器和测量方法引起的。计量是用法定标准的已知量来测量同一类事物的未知量,并认为误差是由受检仪器引起的。它的任务是确定测量结果的可靠性。

2) 单位制

我国确立了以国际单位制为基础的法定计量单位,国家以法律形式强制使用。1984年2月国务院颁布了《中华人民共和国法定计量单位》,决定我国法定计量单位以国际单位制为基础,并包括10个我国国家选定的非国际单位制单位,如时间(分、时、天),平面角(秒、分、度),长度(海里),质量(吨)和体积(升)等。在国际单位制中分基本单位、导出单位和辅助单位。基本单位有7个,它们是构成单位制中其他单位的基础,有米(m)、千克(kg)、秒(s)、安培(A)、开尔文(K)、摩尔(mol)、坎德拉(cd)。由基本单位通过定义、定律及其他函数关系派生出来的单位称为导出单位,如频率的单位赫[兹](Hz),能量(功)的单位焦[耳](J),力的单位牛[顿](N),功率的单位瓦[特](W)等,国际单位制中有19个具有专门名称的导出单位。国际上把既可作为基本单位又可作为导出单位的单位,单独列为一类叫做辅助单位。国际单位制中包括两个辅助

单位,分别是[平面]角的单位弧度(rad)和立体角的单位球面角(sr)。国际上规定以拉丁字母SI作为国际单位制的简称。

3) 计量器具

凡是能用以直接或间接测出被测对象量值的量具、计量仪器和计量装置都统称为计量器具。计量器具按用途可分为计量基准、计量标准和工作计量器具三类。

(1) 计量基准

计量基准器具即国家计量基准器具,简称计量基准。它是指一个国家直接按物理量单位定义、用以复现和保存计量单位量值,具有最高准确度水平的基准。它是经过法定手续认定,可作为统一全国量值的最高级的依据的计量器具。

计量基准一般分为主基准、副基准和工作基准,又分别称为一级、二级和三级基准。主基准为原始基准,用作国家基准;副基准为次级基准,可代替主基准向下传递量值;工作基准是专用于向下一级标准器具或仪器进行量值传递用的。

计量基准器具须经国家鉴定并由国务院计量行政部门审批、颁发计量基准证书。它要求有正常工作的环境条件和相应完善的管理制度。计量基准的量值应与国际上的量值保持一致。属于基本的、通用的、为各行各业服务的计量基准,建立在国家法定的检定机构内;属于专业性强,仅为个别行业服务的,或工作条件要求特殊的计量基准,则由国务院授权建立在其他部门的有关技术机构中。

(2) 计量标准

计量标准器具简称计量标准,指准确度低于计量基准,其量值由基准传递而来,用于检定其他计量标准或工作计量器具的计量器具。

根据计量法规定,县级以上各级计量行政部门、国务院各部门及全国的企事业单位,经批准都可根据需要,建立社会共用的计量标准器具,经考核合格后作为本地区、本部门、本单位的最高计量标准器具,并在社会上实施计量监督,具有公证作用。它是统一该地

区、部门或单位量值的依据。

(3) 工作计量器具

工作计量器具不用于检定工作,只用于日常测定,必须定期用计量标准来检定其性能,判断其是否合格。

4) 计量检定和量值传递

计量检定是指为评定计量器具的计量性能,确定其是否合格所进行的全部工作。

按照规定,企事业单位要配备与生产、科研、经营管理相适应的计量检测设施,制定检定办法和制度,对本单位使用的工作计量器具实施定期检定。检定规程由国家制订。规程中对计量器具的计量性能、检定项目、检定条件和方法、检定周期及检定数据处理等,都作了技术规定。

量值传递就是通过计量检定,将国家基准所复现的单位值,经各级计量标准逐级传递到工作用计量器具,构成一个各种单位的传递网,从而保证在实际测量中测量所得到的数值的准确和一致。

国家基准只用来统一为数不多的接近于最高准确度的计量标准。用准确度等级较高的计量标准或计量器具去检定等级低一级的计量标准或计量器具,逐级检定,以判断其准确度是否在符合规定的范围内。在每一级的比较中,都以上一级标准所体现的量值视为准确无误的。实际上,测量总存在误差,因而上下级所体现的单位值并不完全一致,级别愈高的愈精密。

由此可见,量值传递是由上逐级向下传递的。由国家基准或经比对后公认的最高标准开始向下传递,一直传递到工作用计量器具。通过这种量值传递的全国网络,以保证举国上下一切量值的统一、标准和一致。